

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-285415

(43)Date of publication of application : 13.10.2000

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 11-087119

(71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD

(22)Date of filing : 29.03.1999

(72)Inventor : YAMAZAKI ATSUSHI
SAWAZAKI TATSUO
TANOGAMI SHUJI

(54) MANUFACTURE FOR FERROMAGNETIC TUNNEL JUNCTION MAGNETORESISTIVE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form an insulating layer in a short time and obtain an MR ratio with a higher performance stability by forming an aluminum layer as an insulator layer through vapor deposition and oxidizing the layer by plasma in an ambience including oxygen.

SOLUTION: In a method for forming an insulator layer, a film of metallic aluminum is formed by vapor deposition and is plasma oxidized. A first ferromagnetic layer as a face of the insulator layer where the film is to be formed is more preferably formed by sputtering than the vapor deposition. When the vapor deposited aluminum is oxidized to be the insulating layer, plasma oxidation is used for the oxidation, so that the aluminum can be oxidized to an equal level in a short time as compared with natural oxidation, and the insulating film can be obtained with a resistance value approximately in an equal level in a short time. Particularly when the plasma oxidation is applied to the vapor deposited aluminum layer to obtain the insulating film, a tunneling element of a superior stability and a larger MR ratio can be obtained.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-285415
(P 2 0 0 0 - 2 8 5 4 1 5 A)
(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int. Cl. ⁷
G11B 5/39

識別記号

F I
G11B 5/39

データベース (参考)
5D034

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-87119

(22) 出願日 平成11年3月29日 (1999. 3. 29)

(71) 出願人 000002118
住友金属工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(72) 発明者 山崎 篤志
兵庫県尼崎市扶桑町1番8号住友金属工業
株式会社エレクトロニクス技術研究所内
(72) 発明者 沢崎 立雄
兵庫県尼崎市扶桑町1番8号住友金属工業
株式会社エレクトロニクス技術研究所内
(74) 代理人 100083585
弁理士 穂上 照忠 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果素子において、安定して高い磁気抵抗効果を実現させ得る素子を製造する方法の提供。

【解決手段】 (1) 蒸着によりアルミニウム層を形成させ、これを酸素を含む雰囲気中で反応性プラズマにより酸化させて絶縁体層とし強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子を製造する。(2) 絶縁体層となるアルミニウム層を蒸着させる第一の強磁性体層を、スパッタ法にて成膜し、そこへ(1)の方法にて絶縁体層形成させ、上記素子を製造する。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】第一の強磁性体層、絶縁体層、および第二の強磁性体層からなる絶縁体層接合部のトンネル効果を利用する磁気抵抗効果素子の製造方法であって、絶縁体層として、蒸着によりアルミニウム層を形成させ、これを酸素を含む雰囲気中でプラズマにより酸化させることを特徴とする強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項 2】第一の強磁性体層を、スパッタ法にて形成することを特徴とする請求項 1 に記載の強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク装置、磁気エンコーダ装置等の磁気ヘッドに装着されて、磁気記録媒体に記録された情報の読み出しに用いられる磁気抵抗効果を利用した素子に関する。さらに詳しくは、強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗効果素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】大量の情報を高速で記録し読み出しできる磁気記録装置に、ハードディスクなどがある。パーソナルコンピュータなどに使用されるハードディスクにおける記録密度は、短期間で急速に増大しつつあり、今後もその傾向は続くことが予想されている。このハードディスクの磁気媒体に記録された情報を読み出すヘッドの素子として、磁気抵抗効果素子が多く使用されるようになっている。

【0003】磁気抵抗効果とは、導電性の磁性体に磁場を印加すると電気抵抗が変化する効果であり、この効果を持つ素子を利用して磁場変化を検出し、磁気媒体に記録された情報を読みとる。この磁気抵抗効果 (MR - magnetoresistance) 素子は磁気記録媒体の移動速度の影響を受けず、薄膜化による小型化が可能であり、磁気媒体に面密度をきわめて高くして記録された情報を、容易に識別して読み出すことができる利点がある。このような素子としては、従来、強磁性体の電流の方向と磁化軸とのなす角度による抵抗変化比 (MR 比) を検出する、磁気異方性型の素子が利用されてきた。これに対し、非磁性導電体層が二つの強磁性体層に挟まれその一方の強磁性体層の外側に反強磁性体層が接した積層膜構造を持つ、大きな磁気抵抗効果を示すスピンバルブ素子が開発され、高々 2% 程度であった MR 比が 6~7% に向上すると、これを用いた磁気ヘッドの実用化が進められている。しかし、磁気記録密度の増大傾向に対し、より一層大きい MR 比をもつ素子が要望されており、それに応えるものとして、強磁性トンネル効果を利用した磁気抵抗効果素子がある。

【0004】絶縁体で隔てられた二つの導電体の間には、通常、ほとんど電流は流れないが、絶縁体が極めて

薄くなると、電圧印加により電流が流れるようになる。電流が電子という粒子の移動によるとする古典力学的解釈では、これは到底あり得ない現象であるが、電子の運動が波動であるとする量子力学によれば、有限の幅の絶縁体という障壁を電子がある確率で通過できることになる。これをトンネル効果といい、それによって流れる電流をトンネル電流という。そして、この薄い絶縁体層に隔てられた二つの導電性強磁性体の間にトンネル電流が検出されるとき、絶縁体層の両側の強磁性体の磁化が、相互に同じ向きである場合と異なった場合とでトンネル効果に差があり、これが電気抵抗値変化として検出されることが明らかにされた。当初、この現象とその大きな MR 比は極低温域で見出されたが、強磁性体と絶縁体との組み合わせの選択によって、常温でも十分な大きさの効果の得られることが見出され、さらに強磁性トンネル効果による MR 比は、数十% に達することも理論的に予測されて、磁気抵抗効果素子としての可能性が注目されるようになってきた。

【0005】強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果素子 (トンネリング素子) の構造は、薄い非磁性絶縁体層を挟んだ 2 枚の導体層の、一方は外部磁場により容易に磁化方向の変わる強磁性体層、もう一方は磁化方向が動き難いか、あるいは固定された強磁性体層からなるものであるが、ここで絶縁体層の性能はきわめて重要である。絶縁体層はまず実用可能なトンネル電流を得る必要がある、またトンネル電流が得られたとしても、電気抵抗値が高ければ適用周波数に制限を受けるので、抵抗値はできるだけ低くする必要がある。そのためには、絶縁体層の厚さはできるだけ薄くしなければならない。しかし、薄くなるとわずかな不均質や欠陥などにより短絡を生じ、短絡すると素子としては使用できなくなる。

【0006】このトンネリング素子の絶縁層厚さは、当初 10nm 程度であった。たとえば、特開平 4-103014 号公報に開示された発明では、2 つの厚さ 100nm の $\text{Fe}-1.0$ 原子% C 強磁性体層の間に、10nm の Al_2O_3 の層を挟み、一方の強磁性体層の磁化方向を $\text{Fe}-\text{Mn}$ の反強磁性体層で固定した構造とし、各層をイオンビームスパッタリング装置にて成膜している。また、特開平 6-244477 号公報には、絶縁層として 15nm のアルミニウム膜を蒸着し空气中に放置して表面を酸化させた膜を用いる発明が提示されている。これらの強磁性トンネル接合の MR 比は、1% 程度と大きくなく、その上抵抗値の高いものであった。膜厚を薄くすれば抵抗値を低下できるが、短絡による不良を生じやすく、安定した素子の製造は容易でなかった。

【0007】しかしながらその後、接合技術が改善され、絶縁層厚さを 1~2nm として 10% を超える MR 比が実現されるようになってきた。この場合、きわめて薄い絶縁層を安定して得るため、たとえば、特開平 9-198622 号公報に開示された発明のように、 Fe_2O_3 を含む層の上

に1nm程度のアルミニウムの層を成膜し、さらにその上に複数の層を形成させた後、真空中で加熱するというものもある。そうすると Fe_2O_3 が Fe_3O_4 に還元されるとともに、アルミニウムが酸化され Al_2O_3 になる。しかし多くの場合、強磁性体層の上に1~2nmの厚さの金属アルミニウムの膜をスパッタ法などで成膜した後、大気中放置による自然酸化で酸化物にして絶縁膜とし、その上に強磁性体層を成膜するという方法が採用される。これは大気中の自然酸化により、ピンホールなどの欠陥の少ない緻密な酸化膜が形成できると考えられるからである。

【0008】この自然酸化の方法は、酸化時間が短ければ得られた素子の性能が使用中変化したり短絡するなど不安定であり、安定したものを得ようとすれば数百時間以上の酸化時間を必要とし、その上得られる接合はMR比のばらつきが大きい。長時間の酸化は生産性が悪く、また単なる室温放置では温度、湿度、雰囲気など管理が不十分になりがちで、これがばらつきの原因になるとも考えられることから、アルミニウムの成膜後、酸素雰囲気中でのプラズマ放電による酸化が試みられている（日本応用磁気学会誌：Vol. 22(1998), No. 4-2, p. 557、または日本金属学会会報：Vol. 37(1998), No. 9, p. 736）。それによると、大気中の長時間自然酸化と同等のトンネル効果接合が、60秒程度の酸化処理で得られ、トンネリング素子の形成ままの状態でもMR比が最大16%、適当な熱処理を施せば24%ものMR比が得られるとしている。しかしながら、得られた接合のMR比のばらつきの大きさは、自然酸化の場合と同程度であるという。

【0009】以上のように、トンネリング素子は、高いMR比の得られる可能性のあることから、低抵抗化などより一層の性能の向上と、安定した性能の確保、あるいは歩留まりよく製造できることが強く要望されている。しかしながら現状では、これらの問題に対し、実用化に十分なレベルにまで対処できているとは言い難い。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、強磁性トンネル接合を用いた磁気抵抗素子、すなわちトンネリング素子において、従来長時間を要した絶縁層の形成を短時間でこなうことができ、しかも性能の安定性のよい高いMR比を有する素子が製造できる方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】トンネリング素子を実用化するに際しての最大の問題は、製造した素子の特性にばらつきが大きく、安定して高性能のものが得難いことにある。トンネル効果を得るための絶縁体層は、多くは Al_2O_3 （アルミナ）の膜を用いており、その望ましい厚さは1~2nm程度で極めて薄い。この絶縁体膜の形成は、通常、金属アルミニウムを成膜した後、酸化させ、アルミナの膜とする方法が採用される。

【0012】本発明者らは、トンネリング素子の特性ばらつきの最大の原因がこの膜の品質の不安定性にあると考え、膜の製造条件の影響について種々検討をおこなった。膜の厚さは上記のように極めて薄いため、均一で健全な層とするのは容易でなく、膜厚の変動、ピンホール等のわずかな欠陥による短絡、膜形成の素地の凹凸などによる不均一性などにより、トンネル効果の障壁としてのポテンシャルが安定しない、と推定される。そこで基板上に第一の磁性層を成膜しその上に薄いアルミニウム層を形成させ、温度、酸素濃度、時間等の酸化条件を変えたり、酸素プラズマを用いアルミニウムを酸化させたりして絶縁体層を形成させ、素子を作製してその性能を調査した。しかしながら、個々の製品毎の接合部の抵抗値のばらつきや、MR比のばらつきが大きく、さらには短絡などにより、安定して特定品質の素子を得るのは困難であった。

【0013】これらの調査の中で、より高いMR比を相対的に安定して得るという目的に好ましいと思われた条件は、(a)酸化前のアルミニウム層を蒸着により形成させること、(b)酸化は、自然酸化よりもプラズマ酸化とすること、(c)アルミニウム層を成膜する第一の磁性層は、スパッタ法とすること、等であった。そこで、これらの方法の組み合わせ、およびそれらの最適条件についての検討をさらに進め、本発明に至ったのである。すなわち、本発明の要旨は、(1)第一の強磁性体層、絶縁体層、および第二の強磁性体層からなる絶縁体層接合部のトンネル効果を利用する磁気抵抗効果素子の製造方法であって、絶縁体層として、蒸着によりアルミニウム層を形成させ、これを酸素を含む雰囲気中でプラズマにより酸化させることを特徴とする強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子の製造方法、(2)第一の強磁性体層を、スパッタ法にて形成することを特徴とする、上記(1)の強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子の製造方法、である。アルミニウム層の成膜は、膜の密着性や均一性の点から、通常はスパッタ法が多く用いられる。これに対し、蒸着による成膜の方が、より安定した性能のトンネリング素子が得られることがわかった。

【0014】スパッタ法では、成膜される際に粒子が高いエネルギーで被成膜面に衝突し堆積する。このため、被成膜面において、衝突粒子の再配列がおこり、平坦かつ均一な層を得ることができる。しかし一方では、粒子のエネルギーが大きいためこれが被成膜面を叩き、その面を荒らす効果もあると推測され、また、プロセスガス粒子を巻き込むことにより、初期のきわめて薄い膜の間は欠陥の多い状態にあることも考えられる。膜厚が厚くなると、面の荒れは膜の密着性を向上させ、さらにその後堆積するアルミニウム粒子は初期の欠陥を排除していき、膜面均一化により、すぐれた被膜が形成される。しかし、トンネリング素子にて要求される薄い絶縁膜の場合、被成膜面を荒らした効果やガス粒子の巻き込みに

よる欠陥が、酸化前のアルミニウム層に影響し、これが絶縁層の不安定性の原因になるのではないと思われる。

【0015】蒸着の場合、堆積はほとんど粒子の熱エネルギーだけであり、被成膜面を荒らすことはきわめて少なく、ガス粒子の巻き込みもない。ただし、成膜面での蒸着粒子の再配列等は起こり難く、均一性に劣る難点がある。しかしながら、超高真空中の電子ビーム加熱蒸着などのように、真空度を高めてガス粒子の巻き込みを抑え、蒸着粒子のエネルギーをそろえるなどの方法によって、均一性を大きく改善させることができる。

【0016】アルミニウム層を成膜後、酸化させて絶縁層とするが、その場合、自然酸化で長時間かける場合と、酸素を含む雰囲気中にて短時間でプラズマ酸化させた場合とを比較した結果、特に蒸着法でアルミニウム層を形成させた場合、短時間のプラズマ酸化の方がばらつきが小さいことがわかった。長時間の自然酸化では、不純物混入の機会が増し、雰囲気や温度などのわずかな変動が長時間にわたる累積効果として影響することが予想されるが、プラズマ酸化では高純ガス中にて短時間で済むため、条件を管理しやすいこともある。しかし、スパッタ法にて成膜したアルミニウムを酸化させた場合、長時間の自然酸化と短時間のプラズマ酸化とは、得られた素子の性能にそれほど差がないのに対し、蒸着法で成膜したアルミニウムを酸化させた場合、この二つの酸化法で、ばらつきに大きな差が現れるのは、緻密さにやや欠けると推測される蒸着膜の方が、プラズマ酸化による急速な酸化では、膜に生じやすい欠陥を軽減するからではないかと考えられるが明らかではない。

【0017】上記のように、酸化前のアルミニウムの成膜方法により、酸化後の絶縁膜の特性ばらつきなど安定性に差があることから、さらにアルミニウムの被蒸着面となる第一の磁性層の成膜方法について、蒸着法とスパッタ法とを比較した。その結果、スパッタ法の方が明らかにすぐれていることがわかった。これはアルミニウム層の場合とは異なり、成膜される層の厚さが十分大きいので、蒸着粒子のエネルギーの大きいことによる、表面に達してから移動距離が大きいスパッタ法の方が、より平滑な面が得られるためと推定される。すなわち、より平滑なスパッタ法による面の上に、表面を荒らすこと

【0018】

【発明の実施の形態】本発明のトンネリング素子の製造方法には、通常用いられる蒸着法やスパッタ法などの薄膜形成方法がそのまま適用できる。また、主要構成要素が第一の強磁性体層、絶縁体層、および第二の強磁性体層からなる3層構造であっても、第一または第二の強磁

性体層の外側に反強磁性体層が隣接したスピバルブ素子のような構造であってもよい。さらに、基板と第一の強磁性体層との間にシールドなどのような何らかの機能を果たす層が積層された構造となってもよい。第一の強磁性体層と第二の強磁性体層との材質は、特に限定するものではなく、強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果の得られるものであればよい。いずれにしても、絶縁体層の形成方法として蒸着法にて金属アルミニウムを成膜し、これをプラズマ酸化させるものとする。

【0019】絶縁体層の被成膜面となる第一の強磁性体層の形成方法は、蒸着法よりはスパッタ法とすることが望ましい。これは成膜時の粒子のエネルギーが大きいため、成膜後の表面の平滑性がよく、絶縁体層となるアルミニウムが均一に成膜され、得られたトンネリング素子の特性が安定するからである。

【0020】絶縁体層となるアルミニウムの成膜は蒸着法とする。これはスパッタ法とすると、得られた素子の電気抵抗値やMR比のばらつきが大きくなるからである。蒸着法であればその方法は特に限定しないが、安定した性能を得るには超高真空の電子ビーム蒸着方法が望ましい。この酸化させて絶縁体層にするアルミニウム層の厚さは、0.5~2.0nmとするのがよい。これは0.5nm以下になると絶縁層の短絡を生じやすく不安定になるからである。また2nmより厚くなると電気抵抗値の増大により、実用的なトンネリング素子が得られなくなる。

【0021】蒸着したアルミニウムは酸化させ絶縁層とするが、その酸化にはプラズマ酸化を用いる。これは自然酸化に比較し、短時間で同程度にアルミニウムを酸化させることが可能であり、絶縁膜の抵抗値も短時間でほぼ同程度のものが得られるからである。さらに、とくに蒸着したアルミニウム層に適用し絶縁膜とすると、安定性にすぐれたMR比の大きいトンネリング素子を得ることが可能になる。酸化は、0.1~10Torrの酸素圧で安定したプラズマの得られる条件であればよく、蒸着させたアルミニウムがほぼ完全に酸化できればよい。

【0022】アルミニウムを酸化させて絶縁体層を形成させた後の、第二の強磁性体層、さらには反強磁性体層その他の成膜方法は、蒸着法、スパッタ法等いずれの方法を用いてもよい。

【0023】

【実施例】本発明の実施の形態を具体例にて説明する。

【0024】図1にその形状を模式的に示すが、ガラス基板1上にメタルマスクを用い、第一の強磁性体の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （添字は原子濃度%を示す）の層2、絶縁体層3、第二の強磁性体のFeの層4の順に形成させて、十字形のトンネリング素子を作製した。強磁性体層2、4は、いずれも幅を0.3mm、厚さを20nmとした。絶縁体層3は、金属アルミニウムを原料とし、下記のように

(1) 蒸着法にて成膜し、酸素雰囲気中にてプラズマ酸化させた場合と、比較のため(2) スパッタ法にて成膜

し、大気中にて24時間放置して自然酸化させた場合との2種とし、いずれもアルミニウムの厚さとして1.0~2.0 nmの範囲で変えた。接合部分の面積は $0.09\text{mm}^2 (=0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm})$ である。

【0025】各層の成膜条件は、次の通りである。

【0026】(1) 絶縁層はアルミニウムを蒸着法にて成膜しプラズマ酸化

・第一強磁性体層

成膜装置：DCマグネトロンスパッタ装置

スパッタガス：アルゴン（ガス圧 $1.5 \times 10^{-3}\text{Torr}$ ）

スパッタ電力：200W

印加磁場：40 エルステッド

・絶縁体層

アルミニウム成膜装置：真空電子ビーム蒸着装置

ビーム電圧：5 kV

ビーム電流：160 mA

真空度： $1 \times 10^{-6}\text{Torr}$ （蒸着時間を1~4分の範囲で変え、膜厚を変更）

酸化：プラズマアッシング装置

プラズマ電力：200 W

酸化時間：100秒

・第二強磁性体層

成膜装置：真空電子ビーム蒸着装置

ビーム電圧：5 kV

ビーム電流：45 mA

真空度： $2 \times 10^{-6}\text{Torr}$

印加磁場：100 エルステッド

(2) 絶縁層はアルミニウムをスパッタ法にて成膜し、自然酸化

・第一強磁性体層

(1) に同じ

・絶縁体層

アルミニウム成膜装置：DCマグネトロンスパッタ装置（第一強磁性体層と同じ）

スパッタガス：アルゴン（ガス圧 $1.5 \times 10^{-3}\text{Torr}$ ）

スパッタ電力：200W

酸化：大気中放置、24時間

・第二強磁性体層

(1) に同じ

いずれの成膜後も、内部を十分冷却後、大気解放しメタルマスクの交換をおこなった。また、成膜時の磁場の印加は、いずれの強磁性体層の場合も、その長さ方向に対し平行方向とした。作製した接合素子は、図1に示したように、直流4端子法で電気抵抗値、および500エルステッドの磁場変化におけるMR比を測定した。このとき端子間の電圧は約0.5mVとなるよう、電流を調整した。

【0027】図2または図3に、上記(1)の方法の場合の、アルミニウムの厚さに対する電気抵抗値またはM

R比の測定結果を示す。また、比較のためおこなった上記(2)の方法の場合についても、(1)と同様に測定した結果を、図4または図5にそれぞれ示す。

【0028】図2と図4との比較から明らかなように、本発明のアルミニウムを蒸着しプラズマ酸化させて形成させた絶縁層を用いたトンネリング素子は、アルミニウム厚さの増加とともに電気抵抗が増加している傾向が明らかに認められ、しかも同じ厚さのアルミニウム層に対し、値のばらつきが少ないことがわかる。これに対しアルミニウムをスパッタ法にて成膜し自然酸化させた場合はアルミニウム厚さに対する電気抵抗値変化の傾向が明らかでなく、同じアルミニウム厚さでもそのばらつきが大きい。

【0029】また図3と図5との比較から、本発明のアルミニウムを蒸着しプラズマ酸化させた場合、アルミニウム厚さが1.1nm以上では、MR比が大きくしかも安定して得られていることが明らかである。

【0030】

【発明の効果】本発明を適用すれば、従来、特性不良が多発するため、安定量産が困難であったトンネリング素子に関し、良製品を歩留まりよく安定して製造することができるようになる。これにより、高いMR比の期待できる磁気抵抗効果素子の実用化を大きく推進することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果素子の構造およびその特性の測定方法を模式的に説明する図である。

【図2】アルミニウムを蒸着法にて成膜し、プラズマ酸化させて絶縁層としたトンネリング素子の、アルミニウムの膜厚と接合部の電気抵抗測定値との関係を示す図である。

【図3】アルミニウムを蒸着法にて成膜し、プラズマ酸化させて絶縁層としたトンネリング素子の、アルミニウムの膜厚とMR比測定値との関係を示す図である。

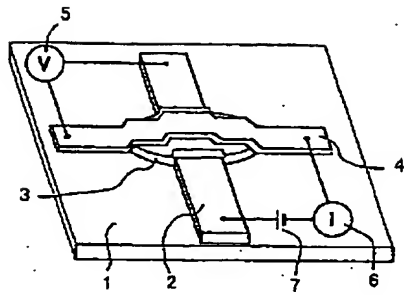
【図4】アルミニウムをスパッタ法にて成膜し、自然酸化させて絶縁層としたトンネリング素子の、アルミニウムの膜厚と接合部の電気抵抗測定値との関係を示す図である。

【図5】アルミニウムをスパッタ法にて成膜し、自然酸化させて絶縁層としたトンネリング素子の、アルミニウムの膜厚とMR比測定値との関係を示す図である。

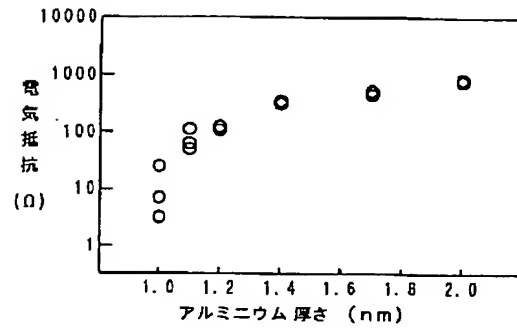
【符号の説明】

- | | |
|---------|-----------|
| 1 ガラス基板 | 2 第一強磁性体層 |
| 3 絶縁体層 | 4 第二強磁性体層 |
| 5 電圧計 | 6 電流計 |
| 7 電源 | |

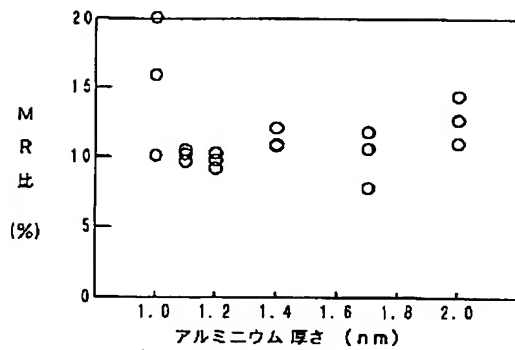
【図 1】



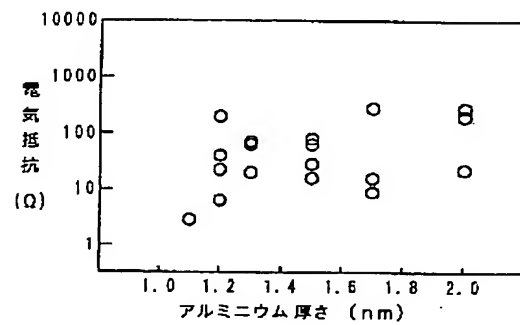
【図 2】



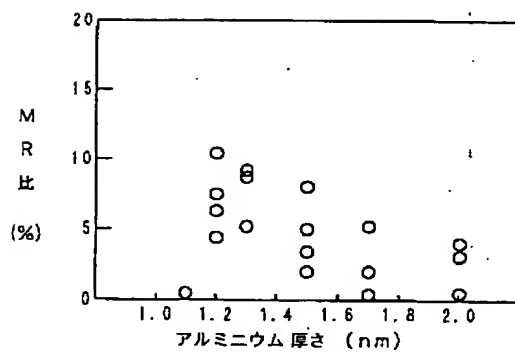
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 田ノ上 修二

兵庫県尼崎市扶桑町1番8号住友金属工業
株式会社エレクトロニクス技術研究所内

Fターム(参考) 5D034 BA03 BA15 DA07